

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к выполнению лабораторной работы  
**«Моделирование автономного инвертора напряжения»**  
по дисциплине «Методы расчета и моделирования преобразователей»  
для студентов направления 05.08.02  
«Электронные устройства и системы»,  
специализирующихся в силовой электронике

Утверждено  
редакционно-издательским  
советом университета,

Протокол № 1 от 04.06.2014.

Харьков  
НТУ «ХПИ»  
2014

Методические указания к выполнению лабораторной работы «Моделирование автономного инвертора напряжения» по дисциплине «Методы расчета и моделирования преобразователей» для студентов направления 05.08.02 «Электронные устройства и системы», специализирующихся в силовой электронике /Сост.: Г.Г. Жемеров, О.И. Холод, Д.С.Крылов. – Харьков: - НТУ «ХПИ», 2014. – 19 с. – Рус. яз.

Составители	Г.Г. Жемеров О.И. Холод Д.С.Крылов
-------------	--

Рецензент	Ю.П. Гончаров
-----------	---------------

Кафедра промышленной и биомедицинской электроники

## ВСТУПЛЕНИЕ

Настоящими методическими указаниями рекомендуется пользоваться при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Методы расчета и моделирования преобразователей» на виртуальном лабораторном стенде (ВЛС), представляющем собой персональный компьютер (PC) с установленным на нем пакетом программ *MatLab/Simulink/SimPowerSystems*.

Целью виртуальной лабораторной работы является закрепление теоретических знаний, путем детального изучения электрических процессов в автономном инверторе напряжения в установившемся и переходных режимах.

Виртуальный лабораторный стенд позволяет изучать в широких пределах параметры схемы и режимы ее работы.

### 1. СИЛОВАЯ СХЕМА АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Силовая схема однофазного автономного инвертора напряжения представлена на рис.1.

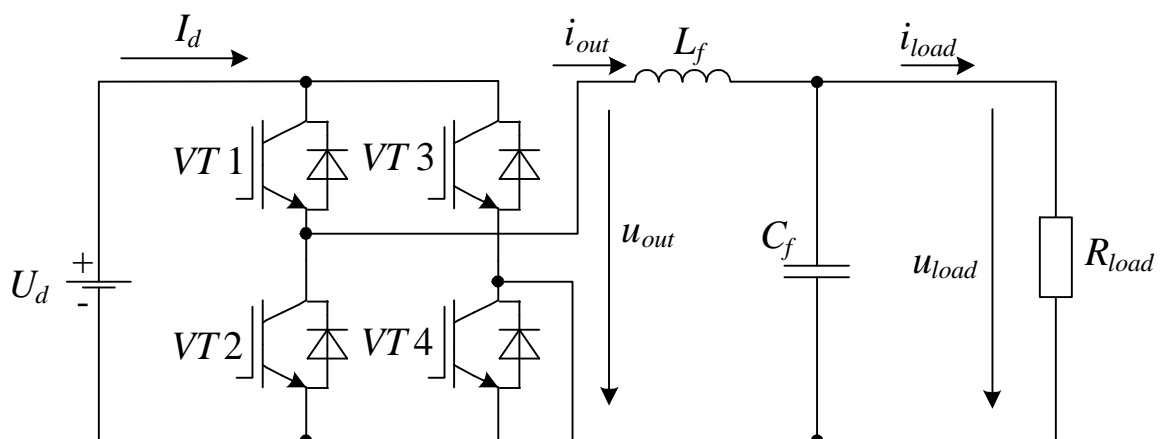


Рисунок 1 – Силовая схема однофазного автономного инвертора напряжения

Она содержит идеальный источник постоянного напряжения  $U_d$ , однофазный мостовой коммутатор с четырьмя двухквadrантными полупроводниковыми ключами переменного тока  $VT1 - VT4$ , выходной фильтр  $L_f-C_f$ , основным звеном которого является реактор и активную нагрузку  $R_{load}$ .

Схема работает следующим образом. В интервале времени  $t_1 - t_2$ , когда включены  $VT1$  и  $VT4$ , напряжение  $u_{out}$  на выходе коммутатора такое же, как и на входе. В момент времени  $t_2$  пара ключей  $VT1$ ,  $VT4$  выключается, а пара  $VT2$ ,  $VT3$  включается. При этом выходное напряжение изменяет полярность, оставаясь, однако, численно равным входному. В момент  $t_3$  происходит новое переключение пар ключей и так далее. Вследствие этого на выходе коммутатора будет сформировано периодическое напряжение прямоугольной формы (меандр) с амплитудой равной входному напряжению. На рис. 2 представлены кривые напряжений и токов автономного инвертора напряжения в уста-

новившемся режиме работы при допущении об идеальности выходного фильтра. Угол сдвига  $\varphi$  учитывает реактивную составную сопротивления нагрузки.

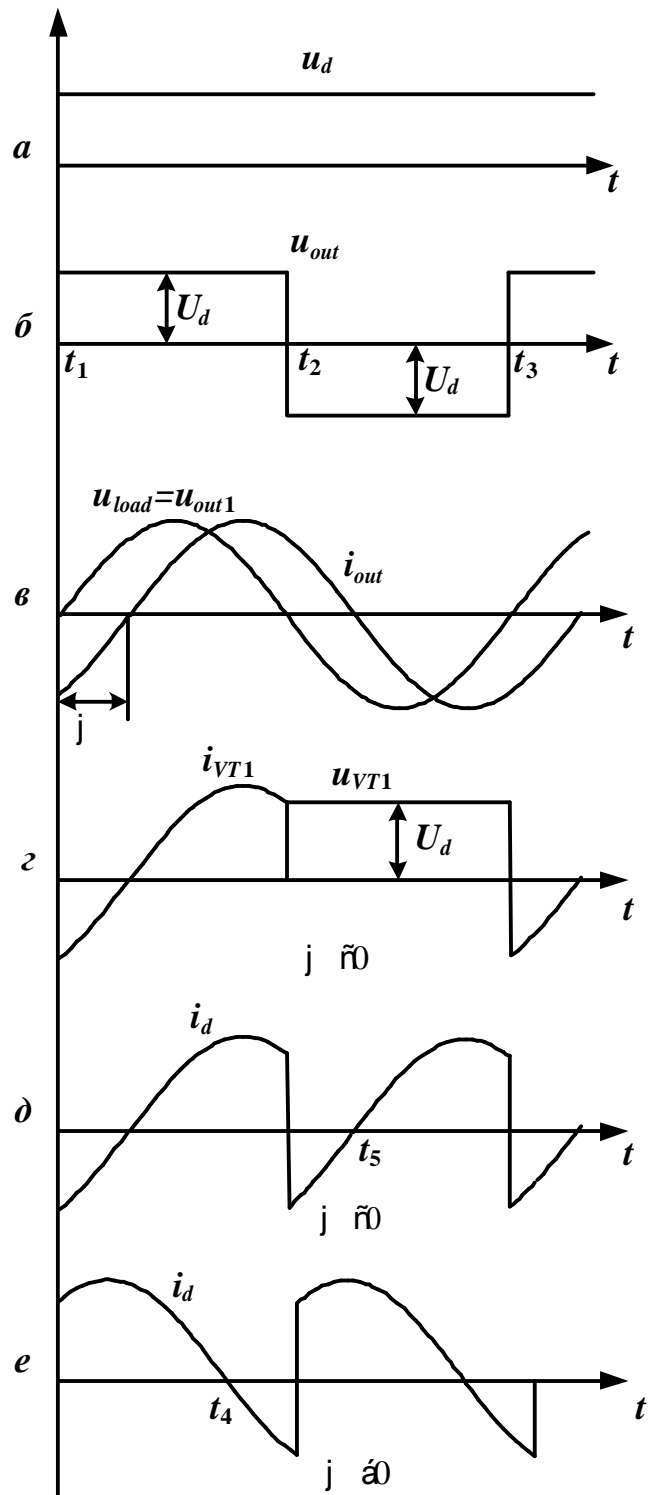


Рисунок 2 – Кривые напряжений и токов автономного инвертора напряжения

Схема трехфазного мостового АИН приведена на рис. 3. Она содержит идеальный источник напряжения  $U_d$ , возможно с входным фильтром, трехфазный мостовой коммутатор с двухквадрантными ключами переменного

тока  $VT1 - VT6$  и активную трехфазную нагрузку  $R_{load}$  с выходным  $LC$  - фильтром. Трехфазная мостовая схема АИН питает двигатель без фазорасщепителей, потому что трехфазной системой токов можно создать вращающееся магнитное поле. В нерегулируемом инверторе каждый ключ включен полупериода. Чтобы входная цепь не замыкалась накоротко, а выходная не размыкалась, ключи одной фазы должны включаться поочередно. В трехфазной, как и в однофазной схеме выходные напряжения и токи содержат все нечетные гармоники. Однако в трехфазной отсутствуют гармоники номера которых кратны трем, что положительно влияет на параметры выходного фильтра.

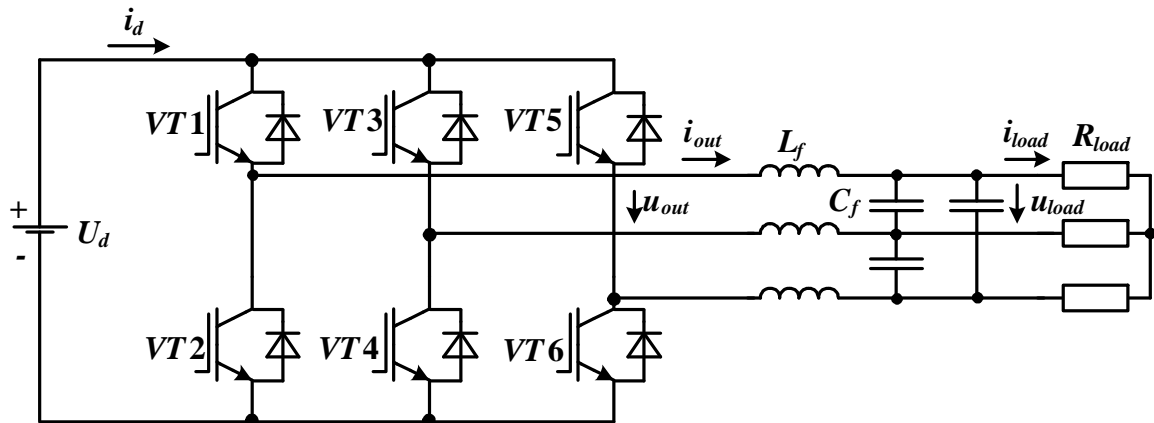


Рисунок 3 – Схема трехфазного мостового АИН

## 2 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЗКИ

Исходные данные для расчета схемы автономного инвертора напряжения приведены в приложении А. Преобразователи классифицируются по выходной мощности:

- маломощные (1-100W), они обычно обладают коэффициентом полезного действия (КПД) порядка 0.7 – 0.8;
- средней мощности (100 – 1000 W) – КПД порядка 0.9;
- высокомоощные (свыше 1000 W) – КПД порядка 0.97 – 0.99.

Мощность источника равна:

$$P_d = \frac{P_{load}}{\eta}, \quad (1)$$

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия преобразователя.

Находим входной ток автономного инвертора напряжения, как

$$I_d = \frac{P_d}{U_d}. \quad (2)$$

Мощность нагрузки в схеме АИН по рис. 1 равна:

$$P_{load} = I_{load} U_{load} = I_{load}^2 R_{load}, \quad (3)$$

где  $I_{load}$  и  $U_{load}$  – действующий ток и напряжение нагрузки.

Из (3) получаем:

$$R_{load} = \frac{P_{load}}{I_{load}^2}, \quad (4)$$

где  $I_{load\ max} = I_d$  – ток нагрузки.

### 3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО КЛЮЧА

В преобразователях малой и средней мощности, которые используют широтно-импульсную модуляцию, целесообразно в качестве полупроводникового ключа применять полевой транзистор *MOSFET*. Его выбор осуществляется по максимальному обратному напряжению  $U_{DS}$  и сопротивлению в проводящем состоянии  $R_{DS(on)}$ .

$$U_{DS} = U_d, \quad (5)$$

$$I_D = I_d, \quad (6)$$

где  $I_D$  – действующий ток транзистора *MOSFET* в проводящем состоянии.

$$R_{DS(on)} = \frac{U_{DS(on)}}{I_D}, \quad (7)$$

где  $U_{DS(on)}$  – напряжение на транзисторе в проводящем состоянии, оно обычно равно 1V.

По  $U_{DS}$  и  $R_{DS(on)}$  выбираем *MOSFET* по справочнику, например *Semikron*.

В преобразователях большой мощности, которые используют ШИМ, целесообразно применять *IGBT*-транзисторы или *GTO(IGCT)*-тиристоры.

Выбор *IGBT*-транзистора осуществляется по максимальному обратному напряжению  $U_{CE}$  и максимальному прямому току  $I_C$ .

$$U_{CE} = U_d, \quad (8)$$

$$I_C = I_d. \quad (9)$$

Выбрав *IGBT*-транзистор по справочнику (например *Semikron*) определим по вольт-амперной характеристике (ВАХ) при 125<sup>0</sup>С дифференциальное сопротивление  $R_{on}$  и пороговое напряжение  $U_f$ . Для этого аппроксимируем реальную вольт-амперную характеристику прибора двумя отрезками прямых – так, как показано на рис. 4.

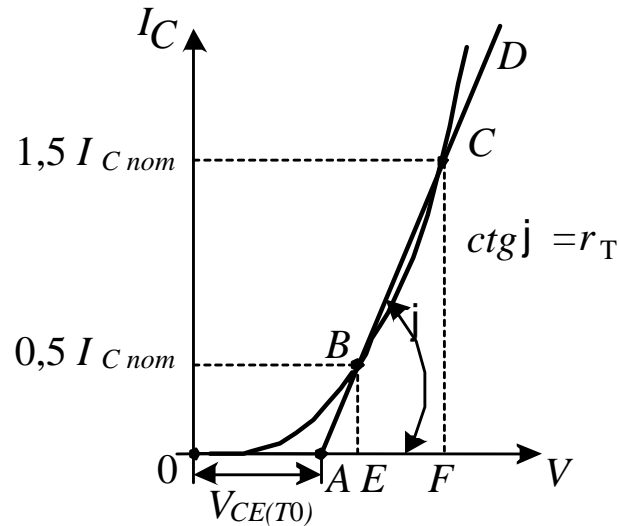


Рисунок 4 – Аппроксимация прямой ветви вольт-амперной характеристики *IGBT* (диода) двумя отрезками прямых

$$\begin{aligned} R_{on} = r_T &= \frac{U_{CEsat}(1,5I_{Cnom}) - U_{CEsat}(0,5I_{Cnom})}{2}; \\ U_f = U_{CE(TO)} &= \frac{3 \times U_{CEsat}(0,5I_{Cnom}) - U_{CEsat}(1,5I_{Cnom})}{2}. \end{aligned} \quad (10)$$

#### 4. РАСЧЕТ ВЫХОДНОГО LC-ФИЛЬТРА

На выходе АИН основным звеном фильтра является реактор. Индуктивность фильтра находится по допустимому току гармоник в нагрузке  $I_h$ . Полагая, что все напряжение  $U_h$  прикладывается к дросселю, получим:

$$\omega_{mod} L_f = \frac{U_h}{I_h}, \quad (11)$$

где  $\omega_{mod}$  – частота фильтруемой гармоники (частота модуляции).

Если основная гармоника тока нагрузки нулевая  $I_0$ , то величина  $I_h$  рассчитывается по допустимому коэффициенту пульсаций тока  $K_I$ :

$$\sqrt{2}I_h = K_I I_o. \quad (12)$$

Если основная гармоника тока нагрузки первая  $I_1$ , то задаются обычно допустимым содержанием высших гармоник в долях от первой гармоники  $I_h^*$ :

$$I_h = I_h^* I_1. \quad (13)$$

В том случае, если сопротивление нагрузки велико, то дополнительно может использоваться конденсатор. Предполагая, что весь ток  $I_h$  протекает через конденсатор, получаем требуемую емкость из условия:

$$w_{\text{mod}} C_f = \frac{I_h}{U_h}, \quad (14)$$

где  $U_h$  – допустимое содержание фильтруемой гармоники в напряжении на нагрузке.

Величина  $U_h$  определяет по выражению:

$$\sqrt{2}U_h = K_U U_o, \quad (15)$$

если основная гармоника нулевая или по выражению:

$$U_h = U_h^* U_1, \quad (16)$$

если основная гармоника первая.

## 5. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АУТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

В данное время широтно–импульсная модуляция является основным способом регулирования напряжения на выходе автономных инверторов. При ШИМ переменное напряжение на выходе коммутатора состоит из импульсов, которые чередуются с повышенной относительно основной частотой. По виду импульсов выходного напряжения выделяют однополярную (рис. 5 а, б) и двухполярную (рис. 5 в) ШИМ. При однополярной ШИМ дополнительно появляется нулевой уровень напряжения, когда выходная цепь короткозамкнута, а входная – выключена. Поэтому в инверторе при ШИМ возникает структура понижающего широтно–импульсного преобразователя (ШИП). Однако в связи с необходимостью сформировать два полупериода выходного напряжения, используется три уровня выходного напряжения:  $+U_d$ , 0,  $-U_d$ . При двухполярной ШИМ чередуются только два уровня выход-



ного напряжения, что реализовать проще. На каждом периоде ШИМ можно выделить среднее значение напряжения и пульсации. Совокупность средних значений называют огибающей. В связи с инерционностью выходной цепи ток в нагрузке задает, в основном, огибающая. Изменяя длительность моделирующих импульсов, ее можно регулировать в широких пределах, начиная с нуля. Возможность широкодиапазонной регуляции исходного напряжения внутренними средствами является одним из важнейших преимуществ АИН. По форме огибающей различают прямоугольную (рис. 5а) и синусоидальную ШИМ (рис. 5б, в). Содержание низкочастотных гармоник при синусоидальной ШИМ меньше.

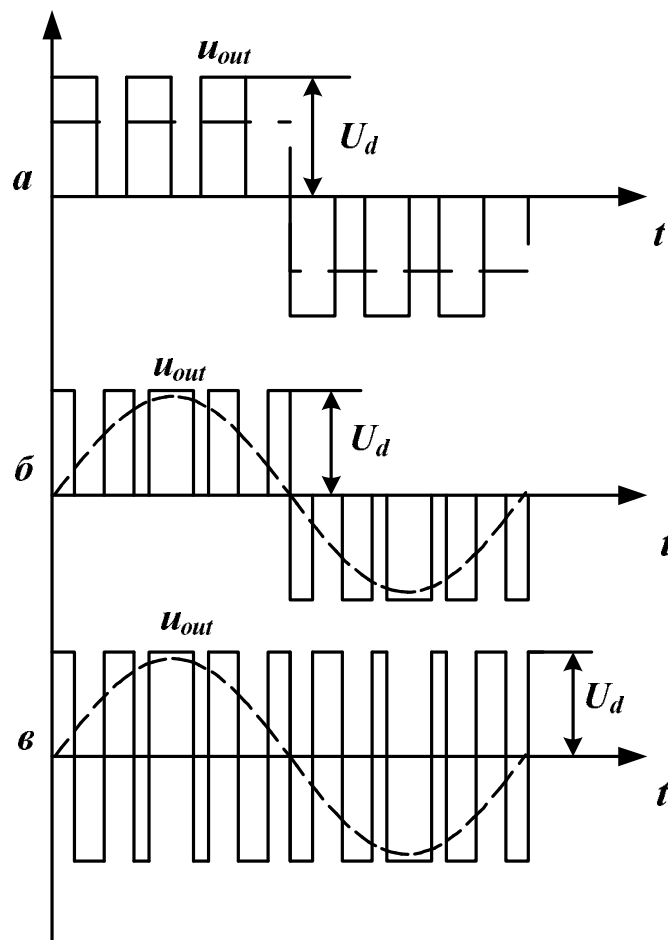


Рисунок 5 – Кривые формирования напряжения с помощью ШИМ

Однофазный мостовой коммутатор позволяет реализовать все виды ШИМ. Уровни  $+U_d$ ,  $-U_d$  реализуются, как в нерегулируемом инверторе, парами ключей  $VT1$ ,  $VT4$  и  $VT2$ ,  $VT3$ . Чтобы получить нулевой уровень, нужно одновременно включить пару ключей  $VT1$ ,  $VT3$  или  $VT2$ ,  $VT4$ . Для обеспечения равномерной нагрузки ключей короткозамкнутые пары чередуют.

Однополярная ШИМ имеет ряд преимуществ по сравнению с двухполярной, а именно:

- более высокий коэффициент полезного действия (КПД);
- меньшие пульсации напряжения на выходе АИН, что обеспечивает применение более легкого выходного фильтра.

Структурные схемы системы управления АИН с однополярной (а) и двухполярной (б) ШИМ приведены на рис. 6.

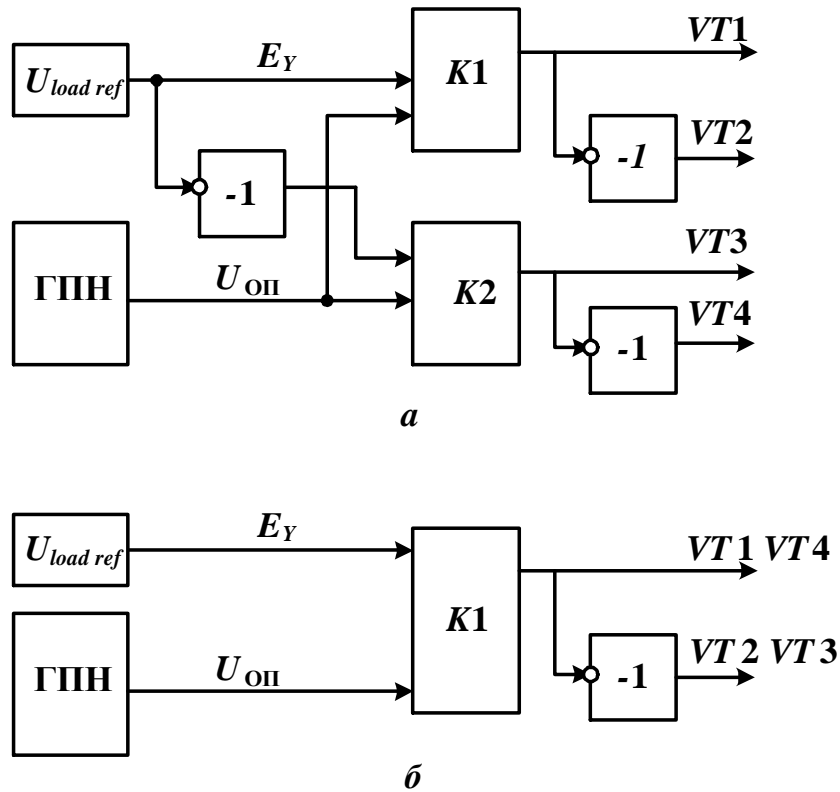


Рисунок 6 – Структурная схема системы управления автономного инвертора напряжения

В зависимости от формы сигнала задания  $U_{load\ ref}^*$  обе структуры (рис.6 а, б) могут реализовать как прямоугольную, так и синусоидальную ШИП.

Сигнал задания  $U_{load\ ref}^*$  равен:

$$U_{load\ ref}^* = U_{load\ max}^* \sin 2\pi f_{load} t, \quad (17)$$

где

$$U_{load\ max}^* = \frac{U_{load\ max}}{U_d}; \quad (18)$$

$t$  – время;

$f_{load}$  – частота напряжения на нагрузке.

#### **Работа системы управления АИН с однополярной ШИМ:**

Сформированный в блоке  $U_{load\ ref}$  сигнал задания  $e_y$  поступает на два компаратора ( $K1$  и  $K2$ ). Генератор пилообразного напряжения (ГПН) генерирует опорный сигнал  $U_{оп}$ , который также поступает на два компаратора. В компараторах происходит сравнение с опорным сигналом сигнала задания  $e_y$  и с противофазным сигналом задания  $-e_y$ . Если  $e_y > u_{оп}$ , то открывается  $VT1$ ,

если  $e_y < u_{оп}$ , то открывается VT2, аналогично – если  $-e_y > u_{оп}$ , то открывается VT3, если  $-e_y < u_{оп}$ , то открывается VT4.

### ***Работа системы управления АИН с двухполярной ШИМ:***

Сформированный в блоке  $U_{loadref}$  сигнал задания  $e_y$  поступает на два компаратор K1. Генератор пилообразного напряжения (ГПН) генерирует опорный сигнал  $U_{оп}$ , который также поступает на компаратор. В компараторе происходит сравнение с опорным сигналом сигнала задания  $e_y$ . Если  $e_y > u_{оп}$ , то открывается VT1, VT4, если  $e_y < u_{оп}$ , то открывается VT2, VT3.

## **6. СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ MATLAB-МОДЕЛИ АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ**

С использованием библиотеки пакета программ *MatLab/Simulink/SimPowerSystems* студент, выполняющий настоящую лабораторную работу, синтезирует *MatLab*-модель, соответствующую силовой схеме по рис. 1, системе управления по рис. 6 и заданному варианту исходных данных, приведенных в приложении А.

После синтеза модели студент запускает ее, проверяет соответствие токов и напряжений в работающей модели заданию и предъявляет ее преподавателю. Преподаватель принимает модель и задает задание на исследование модели из следующего перечня:

- Оценить влияние на работу схемы индуктивности  $L_f$  в пределах  $\pm 50\%$  от расчетного значения;
- Оценить влияние на работу инвертора величины емкости  $C_f$  в пределах  $\pm 30\%$  от расчетного значения;
- Оценить влияние на работу схемы частоты модуляции  $f_{mod}$  в пределах  $\pm 50\%$  от расчетного значения;
- Исследовать переходной процесс при включении инвертора;
- Исследовать переходной процесс при наброске нагрузки;
- Исследовать переходной процесс при сбросе нагрузки;
- Исследовать переходной процесс при скачкообразном изменении угла  $\beta$  в пределах  $\pm 50^\circ$  от расчетного значения;
- Оценить влияние параметров модели на форму тока на выходе инвертора.

## **7. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ**

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом с соблюдением действующих стандартов. В отчете необходимо отразить цель лабораторной работы, описать схему и принцип действия автономного инвертора напряжения, привести методику выполнения и результаты виртуального эксперимента, сопоставить их с теоретическими зависимостями.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаров Ю.П. Перетворювальна техніка: підручник. Ч.2 / Ю.П. Гончаров, О.В. Будьонний, В.Г. Морозов, М.В. Панасенко, В.Я. Ромашко, В.С. Руденко. – Харків: Фоліо, 2000. – 360с.
2. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. / Ю.С. Забродин. – М.: Высшая школа, 1982. – 496с.
3. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0. / С.Г. Герман-Галкин. – СПб.: Корона, 2001. – 320с.
4. Дьяконов В. Matlab. Анализ, идентификация и моделирование систем: специальный справочник. / В. Дьяконов, В. Круглов. – СПб.: Питер. 2002. – 448с.
5. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: учеб. пособие. / Г.С. Зиновьев; изд. 2-е, испр. и доп. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2003. – 664с.

## Приложение А. Варианты исходных данных при моделировании

Номер варианта	Мощность нагрузки $P_{load}, kW$	Напряжение источника $U_d, V$	Частота напряжения на нагрузке $f_{load}, Hz$	Частота модуляции $f_{mod}, Hz$	Вид ШИМ	Коэффициент пульсаций тока $K_I$	Коэффициент пульсаций напряжения $K_U$	Допустимое содержание высших гармоник $I_h^*$	Допустимое содержание высших гармоник $U_h^*$
1	0.09	10	0	25000	Однополярная	0.01	0.01	-//-	-//-
2	0.2	50	30	10000	Двухполярная	-//-	-//-	0.01	0.03
3	5	200	50	5000	Однополярная	-//-	-//-	0.02	0.04
4	80	1200	150	3000	Двухполярная	-//-	-//-	0.3	0.2
5	1000	6000	200	1000	Однополярная	-//-	-//-	0.2	0.1
6	0.08	20	0	30000	Двухполярная	0.02	0.02	-//-	-//-
7	0.6	60	200	15000	Однополярная	-//-	-//-	0.01	0.03
8	9	300	60	7000	Двухполярная	-//-	-//-	0.02	0.02
9	70	1700	200	3000	Однополярная	-//-	-//-	0.1	0.15
10	1000	5000	250	2000	Двухполярная	-//-	-//-	0.2	0.1
11	0.06	30	0	25000	Однополярная	0.03	0.03	-//-	-//-
12	0.9	70	30	15000	Двухполярная	-//-	-//-	0.01	0.03
13	2	100	50	8000	Однополярная	-//-	-//-	0.02	0.05
14	80	1000	150	5000	Двухполярная	-//-	-//-	0.3	0.1
15	1000	2500	200	3000	Однополярная	-//-	-//-	0.2	0.15
16	0.05	10	0	50000	Двухполярная	0.01	0.01	-//-	-//-
17	0.5	40	40	20000	Однополярная	-//-	-//-	0.01	0.03
18	3	300	60	5000	Двухполярная	-//-	-//-	0.02	0.04
19	80	1500	200	3000	Однополярная	-//-	-//-	0.2	0.15
20	1000	3000	250	2000	Двухполярная	-//-	-//-	0.3	0.1

## Приложение Б. Пример расчета параметров силовой схемы автономного инвертора напряжения

Исходные данные при расчете параметров силовой схемы являются заданные в приложение А величины:

$U_d$  – напряжение источника;

$P_{load}$  – мощность нагрузки;

$f_{load}$  – частота напряжения на нагрузке;

$I_h^*, U_h^*$  – допустимое содержание высших гармоник;

$K_I, K_U$  – коэффициенты пульсаций тока и напряжения соответственно;

$f_{mod}$  – частота ШИМ.

С учетом перечисленных выше величин рассчитываются сопротивление нагрузки  $R_{load}$ , индуктивность выходного фильтра  $L_f$ , емкость конденсатора выходного фильтра  $C_f$ , параметры полупроводникового ключа  $R_{on}$  и  $V_f$ .

Пример расчета схемы с однополярной ШИМ:

### 1. Расчет параметров нагрузки

Исходные данные для расчета приведены в приложении А, вариант 1:

$$\left. \begin{aligned} U_d &= 10V, \\ P_{load} &= 90W, \\ f_{load} &= 0Hz, \\ f_{mod} &= 25kHz, \\ K_I &= 0.01, \\ K_U &= 0.01, \\ \text{однополярная.} \end{aligned} \right| \quad (\text{Б.1})$$

$$P_d = \frac{P_{load}}{h} = \left| h = 0.8 \right| = \frac{90}{0.8} = 112.5W. \quad (\text{Б.2})$$

$$I_d = \frac{P_d}{U_d} = \frac{112.5}{10} = 11.25A. \quad (\text{Б.3})$$

$$I_{load\ max} = I_d = 11.25A, \quad (\text{Б.4})$$

$$R_{load} = \frac{P_{load}}{I_{load}^2} = \frac{90}{11.25^2} = 0.71\Omega. \quad (\text{Б.5})$$

### 2. Расчет параметров полупроводникового ключа

В преобразователях малой и средней мощности, которые используют широтно-импульсную модуляцию, целесообразно в качестве полупроводникового ключа применять полевой транзистор *MOSFET*.

$$U_{DS} = U_d = 10V, \quad (Б.6)$$

$$I_D = I_d = 11.25A. \quad (Б.7)$$

$$R_{DS(on)} = \frac{U_{DS(on)}}{I_D} = \frac{1}{11.25} = 0.089W. \quad (Б.8)$$

Выбираем *MOSFET* по каталогу фирмы *International Rectifier*. В *datasheet* находим:

$$\left. \begin{aligned} U_{DSS} &= U_{DS} = 12V, \\ R_{DS(on)} &= 8.5 \times 10^{-3} W, \\ I_D &= 84A, \\ U_{SD} &= U_{fdiod} = 1.2V, \\ R_{(on)diod} &= 0.0071W. \end{aligned} \right| \quad (Б.9)$$

### 3. Расчет выходного LC-фильтра

$$I_h = \frac{K_I I_o}{\sqrt{2}} = \frac{0.01 \times 11.25}{\sqrt{2}} = 0.0796A. \quad (Б.10)$$

$$U_h = \frac{P_{load}}{I_{load}} = \frac{90}{11.25} = 8V. \quad (Б.11)$$

$$L_f = \frac{U_h}{I_h 2\pi f_{mod}} = \frac{8}{2\pi \times 0.0796 \times 25 \times 10^3} = 1.3 \times 10^{-3} H. \quad (Б.12)$$

$$U_h = \frac{K_U U_o}{\sqrt{2}} = \frac{0.01 \times 8}{\sqrt{2}} = 0.057V. \quad (Б.13)$$

$$C_f = \frac{I_h}{U_h 2\pi f_{mod}} = \frac{11.25}{2\pi \times 0.057 \times 25 \times 10^3} = 2.5 \times 10^{-3} F. \quad (Б.14)$$

$$U_{load\ max}^* = \frac{U_{load\ max}}{U_d} = \frac{8}{10} = 0.8. \quad (Б.15)$$

$$U_{loadref} = 0.8. \quad (Б.16)$$

Пример расчета схемы с двухполярной ШИМ:

### 1. Расчет параметров нагрузки

Исходные данные для расчета приведены в приложении А, вариант 20:

$$\left. \begin{aligned} U_d &= 3000V, \\ P_{load} &= 10^6 W, \\ f_{load} &= 250Hz, \\ f_{mod} &= 2kHz, \\ I_h^* &= 0.3, \\ U_h^* &= 0.1, \\ &\text{двухполярная.} \end{aligned} \right| \quad (\text{Б.17})$$

$$P_d = \frac{P_{load}}{h} = |h = 0.97| = \frac{10^6}{0.97} = 1031 \times 10^3 W. \quad (\text{Б.18})$$

$$I_d = \frac{P_d}{U_d} = \frac{1031 \times 10^3}{3000} = 344 A. \quad (\text{Б.19})$$

$$I_{load\ max} = I_d = 344 A, \quad (\text{Б.20})$$

$$R_{load} = \frac{P_{load}}{I_{load}^2} = \frac{10^6}{344^2} = 8.5 W. \quad (\text{Б.21})$$

### 2. Расчет параметров полупроводникового ключа

В преобразователях большой мощности, которые используют ШИМ, целесообразно применять *IGBT*-транзисторы.

$$U_{CE} = U_d = 3000V. \quad (\text{Б.22})$$

$$I_C = I_d = 344 A. \quad (\text{Б.23})$$

Выбираем *IGBT*-транзистор по каталогу фирмы *ABB*. В *datasheet* находим:

$$\left. \begin{aligned} U_{CE} &= 3300V, \\ R_{(on)} &= 1.67 \times 10^{-3} W, \\ I_C &= 1200A, \\ U_f &= 1.8V. \end{aligned} \right| \quad (\text{Б.24})$$



### 3. Расчет выходного $LC$ -фильтра

$$I_h = I_h^* \times I_1 = 0.3 \times 344 = 103.2 \text{ A.} \quad (\text{Б.25})$$

$$U_h = \frac{P_{load}}{I_{load}} = \frac{10^6}{344} = 2910 \text{ V.} \quad (\text{Б.26})$$

$$L_f = \frac{U_h}{I_h 2\pi f_{mod}} = \frac{2910}{2\pi \times 103.2 \times 2 \times 10^3} = 4.5 \times 10^{-3} \text{ H.} \quad (\text{Б.27})$$

$$U_h = U_h^* \times U_1 = 0.1 \times 2910 = 291 \text{ V.} \quad (\text{Б.28})$$

$$C_f = \frac{I_h}{U_h 2\pi f_{mod}} = \frac{344}{2\pi \times 291 \times 2 \times 10^3} = 0.2 \times 10^{-3} \text{ F.} \quad (\text{Б.29})$$

$$U_{load \max}^* = \frac{U_{load \max}}{U_d} = \frac{2910}{3000} = 0.97. \quad (\text{Б.30})$$

$$U_{loadref} = 0.97 \sin 2\pi \times 250t. \quad (\text{Б.31})$$

## СОДЕРЖАНИЕ

ВСТУПЛЕНИЕ.....	3
1. Силовая схема автономного инвертора напряжения.....	3
2 Расчет параметров нагрузки.....	5
3. Расчет параметров полупроводникового ключа.....	6
4. Расчет выходного $LC$ -фильтра.....	7
5. Система управления автономного инвертора напряжения.....	8
6. Синтез и исследование <i>MatLab</i> -модели автономного инвертора напряжения.....	11
7. Оформление результатов исследования <i>MatLab</i> -модели.....	11
Список литературы.....	12
Приложение А. Варианты исходных данных при моделировании.....	13
Приложение Б. Пример расчета параметров силовой схемы автономного инвертора напряжения.....	14

[illegible]

*Навчальне видання*

**Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи  
«Моделювання автономного інвертора напруги»  
з дисципліни «Методи розрахунку та моделювання перетворювачів»  
для студентів напрямку 05.08.02  
«Електронні пристрої та системи»,  
що спеціалізуються в силовій електроніці**

Російською мовою

Укладачі      ЖЕМЕРОВ Георгій Георгійович  
                      ХОЛОД Ольга Ігорівна  
                      КРИЛОВ Денис Сергійович

Відповідальний за випуск                      Є. І. Сокол  
Роботу рекомендував до друку                В. В. Воїнов

В авторській редакції

План 2014, поз. 145

Підп. до друку 24.06.2014г.

Друк – ризографія.

Ум. друк. арк. 2,0.

Зам. № 812 .

Формат 60x84 1/16. Папір офсет. №2.

Гарнітура – Times New Roman.

Тираж 100 прим.

Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ"ХПІ", 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009р.

---